

Studi Literatur Pemanfaatan Energi Terbarukan pada Kapal Untuk Transisi Energi dan Pengurangan Bahan Bakar Fosil

a,1,*Arif Rakhman Suharso, b,2 Slamet Supriyadi, c,3 Akhmad Nuriyanis

^{a,c} Politeknik Maritim Negeri Indonesia, Jl. Pawiyatan Luhur I/1, Bendan Duwur, Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang

^b Universitas PGRI Semarang, Jl. Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Semarang Timur

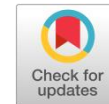
¹ arif.rakhmanApolimarin.ac.id; ² slametsupriyadi@upgris.ac.id; ³ nuriyanis@polimarin.ac.id

* Penulis Korespondensi

Diterima 05 April 2026; Direvisi 08 April 2026; Diterima 13 April 2026

ABSTRAK

Sektor pelayaran merupakan salah satu pengguna utama bahan bakar fosil yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara. Ketergantungan kapal terhadap bahan bakar minyak, seperti Marine Fuel Oil (MFO) dan Marine Diesel Oil (MDO), mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan energi terbarukan pada kapal sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai sumber ilmiah berupa jurnal, prosiding, serta dokumen resmi yang berkaitan dengan penerapan energi terbarukan di sektor maritim. Hasil kajian menunjukkan bahwa beberapa teknologi energi alternatif yang berpotensi diterapkan pada kapal meliputi energi surya, Liquefied Natural Gas (LNG), Hydrogen Fuel Cells (HFCs), propulsi nuklir, dan sistem energi hibrida. Energi surya mampu mengurangi konsumsi bahan bakar untuk kebutuhan listrik kapal, sedangkan LNG menawarkan emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar minyak konvensional. Teknologi Hydrogen Fuel Cells menunjukkan potensi terbesar dalam menurunkan emisi karbon hingga lebih dari 70%, sementara propulsi nuklir memiliki keunggulan berupa emisi operasional yang sangat rendah dan daya jelajah yang tinggi. Selain itu, sistem energi hibrida dinilai sebagai solusi yang paling realistis karena mampu mengintegrasikan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal.

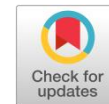


KATA KUNCI

Energi terbarukan,
Kapal,
IMO,
Energi surya,
LNG.

ABSTRACT

The maritime transportation sector is one of the major consumers of fossil fuels and contributes significantly to greenhouse gas emissions and air pollution. The reliance of ships on petroleum-based fuels, such as Marine Fuel Oil (MFO) and Marine Diesel Oil (MDO), has encouraged the development of cleaner and more sustainable alternative energy sources. This study aims to examine the utilization of renewable energy in ships as an effort to reduce dependence on fossil fuels. The research employs a literature review method by collecting and analyzing various scientific sources, including journal articles, conference proceedings, and official documents related to renewable energy applications in the maritime sector. The results indicate that several alternative energy technologies have significant potential for ship applications, including solar energy, Liquefied Natural Gas (LNG), Hydrogen Fuel Cells (HFCs), nuclear propulsion, and hybrid energy systems. Solar energy can reduce fuel consumption for onboard electrical demands, while LNG offers lower emissions compared to conventional marine fuels. Hydrogen Fuel Cell technology demonstrates the greatest potential for reducing carbon emissions by more than 70%, whereas nuclear propulsion provides near-zero operational emissions and extended sailing endurance. Furthermore, hybrid energy systems are considered the most practical solution because they can integrate multiple energy sources to improve ship operational efficiency.



KEYWORD

Renewable Energy,
Ship,
IMO,
Solar Energy,
LNG.



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Industri pelayaran merupakan salah satu sektor transportasi yang berperan penting dalam mendukung perdagangan dan mobilitas global. Namun, aktivitas pelayaran juga memberikan dampak terhadap lingkungan melalui emisi gas rumah kaca dan polutan udara yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil. Untuk mengurangi dampak tersebut, International Maritime Organization (IMO) melalui MARPOL

Annex VI memperketat standar emisi udara kapal melalui penerapan batas sulfur global sebesar 0,50% m/m, pengendalian emisi NO_x Tier III pada wilayah Emission Control Area (ECA), serta revisi persyaratan Energy Efficiency Design Index (EEDI) [1], [2]. Selain itu, IMO juga mengeluarkan strategi pengurangan emisi gas rumah kaca yang bertujuan mendorong pengurangan emis bahan bakar [3].

Salah satu penyebab utama tingginya emisi pada sektor pelayaran adalah penggunaan bahan bakar minyak sebagai sumber energi utama kapal. Sebagian besar kapal masih mengandalkan Marine Fuel Oil (MFO), Marine Diesel Oil (MDO), maupun High-Speed Diesel (HSD) untuk memenuhi kebutuhan propulsi dan energi listrik kapal [4]. Penggunaan bahan bakar tersebut menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), sulfur oksida (SO_x), dan nitrogen oksida (NO_x) yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan perubahan iklim. Sebagai upaya mengatasi permasalahan tersebut, pemanfaatan energi terbarukan mulai dikembangkan pada sektor maritim. Energi terbarukan seperti energi surya, angin, dan sistem energi hibrida memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus menekan emisi yang dihasilkan oleh kapal. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 43,64 ton per tahun serta meningkatkan efisiensi operasional kapal melalui pengurangan penggunaan auxiliary engine berbahan bakar fosil [5, 6]. Selain itu, penerapan sistem hibrida yang menggabungkan energi terbarukan dengan generator diesel atau baterai dapat meningkatkan efisiensi energi dan keandalan sistem kelistrikan kapal [15].

Selain pemanfaatan energi surya, penggunaan Liquefied Natural Gas (LNG) sebagai bahan bakar alternatif kapal juga mulai dikembangkan karena mampu menekan biaya operasional dibandingkan bahan bakar minyak konvensional serta menghasilkan emisi yang lebih rendah, sehingga berpotensi mendukung transisi menuju sistem transportasi laut yang lebih ramah lingkungan [10]. Teknologi propulsi nuklir juga berpotensi menjadi alternatif penggerak kapal masa depan karena mampu menghasilkan emisi gas rumah kaca yang sedikit serta memiliki daya jelajah yang sangat tinggi tanpa memerlukan pengisian bahan bakar dalam jangka waktu yang lama [8]. Hydrogen Fuel Cells (HFCs) juga berkembang sebagai alternatif sistem propulsi kapal yang ramah lingkungan karena mampu meningkatkan efisiensi energi sekaligus menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan [11]. Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan kajian mengenai pemanfaatan energi terbarukan pada kapal sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

2. Tinjauan Pustaka

Transportasi laut merupakan salah satu sektor yang masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama untuk sistem propulsi maupun kebutuhan listrik kapal. Jenis bahan bakar yang umum digunakan antara lain Marine Fuel Oil (MFO), Marine Diesel Oil (MDO), dan High-Speed Diesel (HSD) [3]. Penggunaan bahan bakar tersebut menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), sulfur oksida (SO_x), dan nitrogen oksida (NO_x) yang berkontribusi terhadap pencemaran udara serta perubahan iklim global. Sebagai upaya mengurangi dampak lingkungan dari sektor pelayaran, International Maritime Organization (IMO) melalui MARPOL Annex VI menetapkan berbagai regulasi untuk membatasi kandungan sulfur pada bahan bakar kapal dan menekan emisi gas rumah kaca dari aktivitas pelayaran [1], [2]. Regulasi tersebut mendorong pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara berkelanjutan, seperti energi surya, angin, biomassa, dan hidrogen. Pemanfaatan energi terbarukan pada sektor maritim bertujuan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, meningkatkan efisiensi energi, serta menurunkan emisi gas rumah kaca [12].

Penerapan energi terbarukan pada kapal dapat dilakukan secara langsung melalui pemanfaatan panel surya atau secara tidak langsung melalui sistem hibrida yang menggabungkan energi terbarukan dengan mesin diesel konvensional [6]. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial untuk diterapkan pada kapal karena ketersediaannya yang melimpah dan tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan listrik. Teknologi yang digunakan adalah panel surya (photovoltaic) yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik [9]. Penggunaan panel surya pada kapal wisata mampu menyuplai sebagian kebutuhan energi listrik kapal dan mengurangi konsumsi bahan bakar diesel [7]. Selain itu, implementasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada armada kapal PT XYZ berhasil menghemat biaya bahan bakar hingga ratusan juta rupiah per tahun serta menurunkan emisi CO₂ secara signifikan [5].

Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan gas alam yang dicairkan pada suhu sekitar -160°C sehingga volumenya menjadi jauh lebih kecil dibandingkan bentuk gasnya. LNG menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan pada sektor pelayaran karena menghasilkan emisi sulfur dan

partikulat yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar minyak konvensional [10]. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar kapal ferry memiliki potensi penghematan biaya operasional dibandingkan penggunaan solar serta mampu menurunkan dampak lingkungan akibat emisi gas buang [4]. Hydrogen Fuel Cells (HFCs) merupakan teknologi yang mengubah energi kimia hidrogen menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia tanpa proses pembakaran. Teknologi ini memiliki keunggulan berupa efisiensi tinggi dan emisi yang sangat rendah karena produk samping utama yang dihasilkan adalah uap air [11].

Penerapan Hydrogen Fuel Cells pada kapal peti kemas mampu menurunkan emisi karbon hingga lebih dari 70% dibandingkan sistem propulsi berbahan bakar diesel. Kombinasi Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) dan hidrogen biru menjadi alternatif terbaik karena memberikan kinerja ekonomi dan lingkungan yang lebih baik dibandingkan teknologi lainnya [11]. Selain energi surya dan hidrogen, teknologi propulsi nuklir juga dikaji sebagai alternatif penggerak kapal masa depan. Kapal berpropulsi nuklir menggunakan energi panas hasil reaksi fisi nuklir untuk menghasilkan tenaga propulsi dan energi listrik kapal [8]. Kapal berpropulsi nuklir memiliki keunggulan berupa emisi gas rumah kaca yang hampir nol, daya jelajah yang sangat tinggi, serta kemampuan beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa pengisian bahan bakar [8]. Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan, seperti aspek keselamatan, regulasi, keamanan nuklir, serta penerimaan masyarakat.

Sistem manajemen energi hibrida pada kapal menghadapi berbagai tantangan, seperti adaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan laut, konflik antara efisiensi ekonomi dan pengurangan emisi, serta keterbatasan sistem penyimpanan energi, sehingga diperlukan strategi pengelolaan energi yang cerdas dan terintegrasi untuk meningkatkan kinerja operasional kapal [13]. Sistem manajemen energi kapal berbasis kontrol hierarkis dan optimasi kolaboratif mampu meningkatkan efisiensi operasional, menjaga stabilitas daya, serta mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan pada kapal multi-energi [14]. Pemanfaatan energi terbarukan pada kapal merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca. Berbagai teknologi seperti energi surya, LNG, hydrogen fuel cells, propulsi nuklir, dan sistem energi hibrida memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan masing-masing.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, yaitu metode penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan, mengkaji, dan menganalisis berbagai sumber ilmiah yang relevan dengan topik pemanfaatan energi terbarukan pada kapal untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari jurnal ilmiah, prosiding, laporan organisasi internasional, yang membahas teknologi energi terbarukan pada sektor maritim, seperti energi surya, hidrogen, fuel cell, dan propulsi nuklir. Tahapan penelitian meliputi identifikasi topik penelitian, penelusuran literatur yang relevan, seleksi sumber berdasarkan kesesuaian tema dan kredibilitas publikasi, analisis serta sintesis informasi, kemudian penarikan kesimpulan. Melalui pendekatan ini, berbagai teknologi energi terbarukan yang berpotensi diterapkan pada kapal dibandingkan berdasarkan aspek teknis, lingkungan, dan operasional [9].

Literatur yang digunakan mencakup penelitian mengenai implementasi energi baru terbarukan pada armada kapal, pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik pada kapal wisata, inovasi kapal bertenaga panel surya, optimasi sistem energi hibrida pada kapal, penggunaan LNG sebagai bahan bakar alternatif kapal, serta kajian potensi energi surya sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan dokumen regulasi yang diterbitkan oleh International Maritime Organization (IMO) terkait pengendalian emisi dan pengurangan gas rumah kaca pada sektor pelayaran. Literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan relevansi topik, kredibilitas sumber, tahun publikasi, serta kesesuaiannya dengan tujuan penelitian sehingga diperoleh referensi yang mendukung kajian secara ilmiah dan aktual. Analisis difokuskan pada identifikasi jenis energi terbarukan yang dapat diterapkan pada kapal, manfaat integrasi energi terbarukan terhadap sistem energi listrik kapal, pengaruhnya terhadap efisiensi energi dan pengurangan emisi, serta tantangan yang dihadapi dalam implementasinya.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil kajian literatur, sektor pelayaran masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil seperti Marine Fuel Oil (MFO), Marine Diesel Oil (MDO), dan High-Speed Diesel (HSD) untuk memenuhi kebutuhan propulsi dan kelistrikan kapal [3]. Penggunaan bahan bakar tersebut menghasilkan emisi CO₂, SO_x, dan NO_x yang berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan dan perubahan iklim.

Oleh karena itu, berbagai teknologi energi alternatif mulai dikembangkan untuk mendukung target pengurangan emisi yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO) melalui MARPOL Annex VI [1], [2]. LNG, hydrogen fuel cells, propulsi nuklir, dan sistem energi hibrida merupakan teknologi yang memiliki potensi besar untuk diterapkan pada kapal sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak diterapkan pada kapal karena tersedia secara melimpah dan tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan listrik. Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik menggunakan panel surya (photovoltaic) yang kemudian disimpan dalam baterai atau digunakan langsung untuk memenuhi kebutuhan beban kapal [9].

Penerapan panel surya pada kapal wisata mampu menyuplai sebagian kebutuhan energi listrik kapal sehingga penggunaan generator diesel dapat dikurangi. Hasil yang lebih signifikan ditunjukkan oleh Pratomo [5], dimana implementasi sistem PLTS pada armada kapal PT XYZ mampu menghemat biaya bahan bakar hingga Rp463,37 juta per tahun dan menurunkan emisi CO₂ sebesar 43,64 ton per tahun. Selain itu, kapal dapat memanfaatkan energi listrik dari PLTS rata-rata selama 15,03 jam per hari sehingga ketergantungan terhadap auxiliary engine berbahan bakar fosil berkurang secara signifikan. Meskipun demikian, pemanfaatan energi surya masih memiliki keterbatasan berupa ketergantungan terhadap intensitas cahaya matahari dan kapasitas baterai penyimpanan energi. Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan dalam masa transisi menuju energi bersih. Dibandingkan bahan bakar minyak, LNG menghasilkan emisi sulfur dan partikulat yang lebih rendah serta memiliki efisiensi ekonomi yang lebih baik [10]. Penggunaan LNG sebagai bahan bakar penggerak kapal ferry memberikan keuntungan ekonomi yang cukup baik dibandingkan penggunaan solar. Selain menurunkan biaya operasional, LNG juga mampu mengurangi emisi gas buang sehingga dapat membantu kapal memenuhi regulasi lingkungan internasional.

Hydrogen Fuel Cells (HFCs) merupakan teknologi yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen. Teknologi ini memiliki keunggulan berupa efisiensi energi yang tinggi serta emisi yang sangat rendah karena produk samping yang dihasilkan berupa uap air [11]. Hasil penelitian Pradana dkk. [11] menunjukkan bahwa penggunaan fuel cells pada kapal peti kemas mampu menurunkan emisi karbon sebesar 70–81% pada sistem hybrid dan berpotensi mencapai 98% apabila seluruh sistem propulsi dan pembangkit listrik kapal menggunakan fuel cells. Selain itu, kombinasi Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) dengan hidrogen biru memberikan performa terbaik dari segi ekonomi maupun lingkungan. Penerapan teknologi fuel cells masih menghadapi tantangan berupa tingginya biaya investasi awal, kebutuhan infrastruktur hidrogen, serta ketersediaan bahan bakar hidrogen dalam skala besar.

Kapal berpropulsi nuklir merupakan salah satu teknologi yang memiliki kemampuan menghasilkan energi dalam jumlah besar tanpa menghasilkan emisi gas rumah kaca selama operasi. Bahan bakar nuklir memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi sehingga kapal dapat beroperasi selama 5–7 tahun tanpa pengisian ulang bahan bakar. Keunggulan utama teknologi ini adalah emisi karbon yang rendah, daya jelajah yang sangat tinggi, serta kemampuan beroperasi dalam jangka waktu lama. Namun demikian, implementasi kapal berpropulsi nuklir masih menghadapi berbagai kendala seperti regulasi, keselamatan nuklir, pengelolaan limbah radioaktif, biaya investasi yang tinggi, dan rendahnya penerimaan masyarakat terhadap teknologi nuklir [8]. Sedangkan pada sistem manajemen energi hibrida pada kapal mampu mengoptimalkan penggunaan berbagai sumber energi melalui pengaturan yang adaptif terhadap perubahan kondisi operasi, meskipun masih menghadapi tantangan berupa fluktuasi beban, konflik antara efisiensi ekonomi dan pengurangan emisi, serta keterbatasan sistem penyimpanan energi [13]. Penerapan sistem manajemen energi terintegrasi berbasis kontrol hierarkis dapat meningkatkan efisiensi distribusi daya, mengurangi kehilangan daya hingga 39,3%, serta menekan biaya lingkungan akibat penggunaan generator diesel [14].

Berdasarkan hasil kajian literatur, masing-masing teknologi memiliki keunggulan dan keterbatasan yang berbeda. Energi surya memiliki emisi nol dan biaya operasional rendah, namun bergantung pada kondisi cuaca. LNG memiliki teknologi yang sudah matang dan biaya relatif ekonomis, tetapi masih menghasilkan emisi karbon. Hydrogen fuel cells menawarkan pengurangan emisi yang sangat besar, namun membutuhkan investasi dan infrastruktur yang tinggi. Propulsi nuklir memiliki emisi yang sangat rendah dan daya jelajah tinggi, tetapi menghadapi kendala keselamatan dan regulasi. Sementara itu, sistem energi hibrida menawarkan solusi yang lebih fleksibel karena dapat mengintegrasikan beberapa sumber energi sekaligus. Berdasarkan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan, teknologi hydrogen fuel cells dan sistem energi hibrida menunjukkan prospek paling menjanjikan untuk mendukung transisi energi pada sektor

maritim. penerapan sistem pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan panel surya, turbin angin, dan generator pada kapal mampu meningkatkan efisiensi energi, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, memberikan peluang yang besar bagi sektor pelayaran untuk memenuhi target pengurangan emisi yang ditetapkan IMO. [15], [16]

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan pada kapal memiliki potensi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendukung upaya pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor maritim. Berbagai teknologi yang telah dikembangkan, seperti energi surya, Liquefied Natural Gas (LNG), Hydrogen Fuel Cells (HFCs), propulsi nuklir, dan sistem energi hibrida, menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam meningkatkan efisiensi energi dan menekan dampak lingkungan dari operasional kapal. Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pendukung untuk memenuhi kebutuhan listrik kapal dan mengurangi penggunaan generator diesel. LNG menjadi bahan bakar alternatif yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar minyak konvensional, meskipun masih menghasilkan emisi karbon. Hydrogen Fuel Cells (HFCs) merupakan teknologi yang sangat menjanjikan karena mampu menghasilkan energi listrik dengan efisiensi tinggi serta menurunkan emisi karbon secara signifikan. Sementara itu, kapal berpropulsi nuklir menawarkan emisi operasional yang sangat rendah dan daya jelajah yang tinggi, namun masih menghadapi tantangan dari aspek keselamatan, regulasi, dan penerimaan masyarakat.

5.2 Saran

Berdasarkan potensi dan tantangan dari berbagai teknologi tersebut, disarankan agar industri maritim dan pemerintah mengambil langkah strategis melalui penerapan sistem energi hibrida sebagai solusi transisi jangka pendek yang realistis, sembari mempercepat riset dan pembangunan infrastruktur pendukung untuk teknologi masa depan seperti *Hydrogen Fuel Cells* (HFCs). Di samping itu, pemerintah perlu memberikan insentif fiskal bagi maskapai pelayaran yang mengadopsi teknologi bersih ini, serta mulai merumuskan regulasi keselamatan yang ketat bersamaan dengan edukasi publik guna mengatasi tantangan sosial dan hukum pada pemanfaatan propulsi nuklir.

Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan RI, "Pelayaran Indonesia Siap Patuhi Aturan MARPOL tentang Kandungan Sulfur di Bahan Bakar Kapal," Nov. 2, 2018. [Online]. Available: <https://hubla.dephub.go.id/home/post/read/4556/pelayaran-indonesia-siap-patuhi-aturan-marpol-tentang-kandungan-sulfur-di-bahan-bakar-kapal>. Accessed: Mar. 12, 2026.
- [2] International Maritime Organization (IMO), MARPOL Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation, 2017 Edition, Supplement February 2019. London, U.K.: International Maritime Organization, Feb. 2019.
- [3] Mengenal Jenis Bahan Bakar Kapal Laut dan Cara Kerja," Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://pgnIng.co.id/berita/wawasan/jenis-jenis-bahan-bakar-kapal-laut/>. Accessed: Mar. 12, 2026
- [4] I. G. J. Parwata, C. Kusuma, and M. Indriyanto, "Analisa Ekonomi Pemanfaatan Gas LNG Sebagai Bahan Bakar Penggerak Kapal Ferry," *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, vol. 3, no. 5, pp. 119–126, Sep. 2022, doi: 10.7777/jiemar.v3i5.413.
- [5] M. H. Pratomo, "Implementasi Energi Baru Terbarukan pada Armada Kapal PT XYZ," *Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer (TEKNIK)*, vol. 5, no. 1, pp. 36–46, Mar. 2025, doi: 10.55606/teknik.v5i1.5750.
- [6] A. A. Mubarak, A. Rachmianty, A. Azrullah, and Y. Maada, "Optimasi alat penggerak kapal ikan berbasis energi terbarukan dan mesin diesel berdasarkan variasi musim dan operasional nelayan ", *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknol.*, vol. 20, no. 1, pp. 72–84, Apr. 2026.
- [7] S. W. Satoto and D. Ariyanto, "Pemanfaatan Energi Terbarukan sebagai Sumber Energi Listrik pada Desain Kapal Wisata di Kepulauan Riau," *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 13, no. 2, pp. 61–68, Dec. 2019, doi: 10.29122/jurnalwave.v13i2.3866.
- [8] S. M. Lumbanraja dan A. P. Rijanti, "Kapal Laut Berpropulsi Nuklir di Indonesia," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, Pangkalpinang, Indonesia, 7 Okt. 2017, pp. 1–6.

- [9] A. Sulistiyono, H. Rifai, and N. Y. Sudiar, "Literature Review: Solar Energy for Alternative Renewable Energy and Potential Application in Indonesia," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 59–66, Mar. 2025, doi: 10.29103/jreece.v5i1.16143.
- [10] Ditjen Migas Kementerian ESDM, "Pemerintah Dorong Penggunaan LNG Untuk Kapal Laut," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Sep. 01, 2014. [Online]. Available: <https://www.migas.esdm.go.id/post/Pemerintah-Dorong-Penggunaan-LNG-Untuk-Kapal-Laut->. [Accessed: Mar. 17, 2026].
- [11] M. D. R. Pradana, S. Nugroho, dan E. W. Ardhi, "Studi Pemanfaatan Teknologi Hydrogen Fuel Cells (HFCs) pada Kapal Peti Kemas," *Rekayasa: Journal of Science and Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 17–26, 2023, doi: 10.21107/rekayasa.v16i1.16269.
- [12] S. C. Ar-Rahman, N. E. Sabila, Q. S. Putri, M. P. Izzaty, and Ma'ruf, "Analisis Teknologi pada Kapal Ramah Lingkungan: Mendorong Transportasi Laut Berkelanjutan di Era Modern," *Jurnal Pendidikan Perikanan Kelautan (Journal of Fisheries and Maritime Studies)*, vol. 5, no. 1, pp. 54–65, Jun. 2025
- [13] L. Zhao, C. Sun, and H. Lin, "A Review of Hybrid Energy Management Systems for Ships," *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, vol. 24, pp. 57–71, Jun. 2025, doi: 10.52820/j.enavi.2025.24.05
- [14] Y. Ren, L. Zhang, P. Shi, and Z. Zhang, "Research on Multi-Energy Integrated Ship Energy Management System Based on Hierarchical Control Collaborative Optimization Strategy," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 10, Art. no. 1556, Oct. 2022, doi: 10.3390/jmse10101556.
- [15] M. A. K. Khalqih, F. Mahmuddin, and S. Klara, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Pada Kapal Penyeberangan Lintas Lembar–Padang Bai," *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, vol. 2, no. 1, pp. 16–25, Jun. 2023, doi: 10.25042/jrt2k.062023.03.
- [16] R. A. Kusumawardani and Suwarso, "Pengembangan Sistem Hybrid Berbasis Panel Surya untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Pada Operasional Kapal ASD Tug," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 9, no. 3, pp. 34570–34577, 2025, doi: 10.31004/jptam.v9i3.33363.